

IN THE UNITED STATES PATENT AND TRADEMARK OFFICE

In re application of: **Kazumasa TAKABAYASHI, et al.** Group Art Unit: **Not Yet Assigned**

Serial No.: **Not Yet Assigned**

Examiner: **Not Yet Assigned**

Filed: **March 29, 2004**

For: **WAVELENGTH TUNABLE LASER AND METHOD OF CONTROLLING THE SAME**

CLAIM FOR PRIORITY UNDER 35 U.S.C. 119

Commissioner for Patents
P.O. Box 1450
Alexandria, VA 22313-1450

Date: March 29, 2004

Sir:

The benefit of the filing date of the following prior foreign application is hereby requested for the above-identified application, and the priority provided in 35 U.S.C. 119 is hereby claimed:

Japanese Appln. No. 2003-370805, filed October 30, 2003

In support of this claim, the requisite certified copy of said original foreign application is filed herewith.

It is requested that the file of this application be marked to indicate that the applicants have complied with the requirements of 35 U.S.C. 119 and that the Patent and Trademark Office kindly acknowledge receipt of said certified copy.

In the event that any fees are due in connection with this paper, please charge our Deposit Account No. 01-2340.

Respectfully submitted,

ARMSTRONG, KRATZ, QUINTOS,
HANSON & BROOKS, LLP

William L. Brooks

William L. Brooks
Attorney for Applicants
Reg. No. 34,129

WLB/jaz
Atty. Docket No. **040159**
Suite 1000
1725 K Street, N.W.
Washington, D.C. 20006
(202) 659-2930



23850

PATENT TRADEMARK OFFICE

日 本 国 特 許 庁
JAPAN PATENT OFFICE

別紙添付の書類に記載されている事項は下記の出願書類に記載されている事項と同一であることを証明する。

This is to certify that the annexed is a true copy of the following application as filed with this Office.

出 願 年 月 日
Date of Application: 2 0 0 3 年 1 0 月 3 0 日

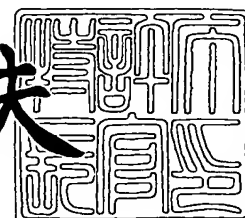
出 願 番 号
Application Number: 特 願 2 0 0 3 - 3 7 0 8 0 5
[ST. 10/C]: [J P 2 0 0 3 - 3 7 0 8 0 5]

出 願 人
Applicant(s): 富士通株式会社

2 0 0 4 年 3 月 5 日

特許庁長官
Commissioner,
Japan Patent Office

今 井 康 夫



出証番号 出証特 2 0 0 4 - 3 0 1 7 0 4 2

【書類名】 特許願
【整理番号】 0340809
【提出日】 平成15年10月30日
【あて先】 特許庁長官殿
【国際特許分類】 H01S 5/0687
【発明者】
 【住所又は居所】 神奈川県川崎市中原区上小田中 4 丁目 1 番 1 号 富士通株式会社
 内
 【氏名】 高林 和雅
【発明者】
 【住所又は居所】 神奈川県川崎市中原区上小田中 4 丁目 1 番 1 号 富士通株式会社
 内
 【氏名】 森戸 健
【発明者】
 【住所又は居所】 神奈川県川崎市中原区上小田中 4 丁目 1 番 1 号 富士通株式会社
 内
 【氏名】 小滝 裕二
【特許出願人】
 【識別番号】 000005223
 【氏名又は名称】 富士通株式会社
【代理人】
 【識別番号】 100090273
 【弁理士】
 【氏名又は名称】 國分 孝悦
 【電話番号】 03-3590-8901
【手数料の表示】
 【予納台帳番号】 035493
 【納付金額】 21,000円
【提出物件の目録】
 【物件名】 特許請求の範囲 1
 【物件名】 明細書 1
 【物件名】 図面 1
 【物件名】 要約書 1
 【包括委任状番号】 9908504

【書類名】 特許請求の範囲**【請求項 1】**

レーザ光を出射する半導体光増幅器と、
前記レーザ光の経路に配置された波長可変フィルタと、
前記レーザ光の経路に配置され、周期的な透過波長を具えた第 1 の光フィルタと、
前記半導体光増幅器、位相制御手段、波長可変フィルタ及び第 1 の光フィルタを間に挟む位置に配置され、前記レーザ光を共振させる 2 個の反射部材と、
前記 2 個の反射部材間で共振するレーザ光の位相を制御する位相制御手段と、
前記 2 個の反射部材の一方を透過したレーザ光の一部を分離する第 1 及び第 2 のビームスプリッタと、
前記第 1 のビームスプリッタにより分離されたレーザ光の強度を検出する第 1 の光検出器と、
前記第 2 のビームスプリッタにより分離されたレーザ光の経路に配置され、周期的な透過波長を具えた第 2 の光フィルタと、
前記第 2 の光フィルタを透過したレーザ光の強度を検出する第 2 の光検出器と、
を有し、
前記位相制御手段は、前記第 1 の光検出器により検出された強度に対する前記第 2 の光検出器により検出された強度の比が一定の値になるように前記レーザ光の位相を制御することを特徴とする波長可変レーザ。

【請求項 2】

前記第 1 の光フィルタの透過波長の周期と、前記第 2 の光フィルタの透過波長の周期とが、互いに一致していることを特徴とする請求項 1 に記載の波長可変レーザ。

【請求項 3】

前記第 2 の光フィルタの透過波長の周期は、前記第 1 の光フィルタの透過波長の周期の 2 倍となっていることを特徴とする請求項 1 又は 2 に記載の波長可変レーザ。

【請求項 4】

前記波長可変フィルタに対して、前記第 1 の光検出器により検出されるレーザ光の強度が最大となるように制御が行われることを特徴とする請求項 1 乃至 3 のいずれか 1 項に記載の波長可変レーザ。

【請求項 5】

前記波長可変フィルタに対して、前記半導体光増幅器にかかる電圧が最小となるように制御が行われることを特徴とする請求項 1 乃至 3 のいずれか 1 項に記載の波長可変レーザ。

【請求項 6】

前記一定の値は、前記 2 個の反射部材間で共振するレーザ光の位相と前記 2 個の反射部材の一方を透過したレーザ光の強度との関係から予め求められた値であることを特徴とする請求項 1 乃至 5 のいずれか 1 項に記載の波長可変レーザ。

【請求項 7】

前記半導体光増幅器には、前記 2 個の反射部材間で同一の縦モードで共振することができ、
前記一定の値は、前記位相の範囲の中心の位相が得られるときに、前記第 1 の光検出器により検出された強度に対する前記第 2 の光検出器により検出された強度の比であることを特徴とする請求項 1 乃至 5 のいずれか 1 項に記載の波長可変レーザ。

【請求項 8】

レーザ光を出射する半導体光増幅器と、
前記レーザ光の経路に配置された波長可変フィルタと、
前記レーザ光の経路に配置され、周期的な透過波長を具えた第 1 の光フィルタと、
前記半導体光増幅器、位相制御手段、波長可変フィルタ及び第 1 の光フィルタを間に挟む位置に配置され、前記レーザ光を共振させる 2 個の反射部材と、
前記 2 個の反射部材の一方を透過したレーザ光の一部を分離する第 1 及び第 2 のビーム

スプリッタと、

前記第 1 のビームスプリッタにより分離されたレーザ光の強度を検出する第 1 の光検出器と、

前記第 2 のビームスプリッタにより分離されたレーザ光の経路に配置され、周期的な透過波長を具えた第 2 の光フィルタと、

前記第 2 の光フィルタを透過したレーザ光の強度を検出する第 2 の光検出器と、
を有する波長可変レーザの制御方法であって、

前記第 1 の光検出器により検出された強度に対する前記第 2 の光検出器により検出された強度の比が一定の値になるように、前記 2 個の反射部材間で共振するレーザ光の位相を制御することを特徴とする波長可変レーザの制御方法。

【請求項 9】

前記一定の値として、前記 2 個の反射部材間で共振するレーザ光の位相と前記 2 個の反射部材の一方を透過したレーザ光の強度との関係から予め求められた値を用いることを特徴とする請求項 8 に記載の波長可変レーザの制御方法。

【請求項 10】

前記半導体光増幅器には、前記 2 個の反射部材間で同一の縦モードで共振することができる位相の範囲が存在し、

前記一定の値として、前記位相の範囲の中心の位相が得られるときに、前記第 1 の光検出器により検出された強度に対する前記第 2 の光検出器により検出された強度の比を用いることを特徴とする請求項 8 又は 9 に記載の波長可変レーザの制御方法。

【書類名】明細書

【発明の名称】波長可変レーザ及びその制御方法

【技術分野】

【0001】

本発明は、波長多重通信システム等に好適な波長可変レーザ及びその制御方法に関する。

【背景技術】

【0002】

近年の通信需要の飛躍的な増大に伴い、波長の異なる複数の信号光を多重化することで1本の光ファイバで大容量伝送が可能となる波長多重通信システム(WDMシステム)の開発が進んでいる。このような波長多重通信システムにおいては、広い波長範囲で所望の波長を選択できる波長可変レーザがシステムを構築する上で強く求められている。

【0003】

広い波長範囲で所望の波長を選択できる波長可変レーザを実現する構成として、図7に示すように、2枚の反射鏡106及び107を備えた共振器の内部に、広い波長範囲で利得をもつ半導体光増幅器(SOA)101、導波路集積部102、広い波長可変範囲で所望の波長の光を選択することができる波長可変フィルタ103、及びエタロン105が配置されたものがある。エタロンは、周期的な透過波長を持つ光フィルタである。また、共振器の外部には、反射鏡107を透過したレーザ光の一部を分離するビームスプリッタ109、このビームスプリッタ109により分離されたレーザ光の強度を検出する光検出器110、及び光検出器110による検出結果に基づいて導波路集積部102を構成する導波路の屈折率を制御する位相制御部111が設けられている。

【0004】

このように構成された波長可変レーザにおいて発振波長を制御するためには、下記の2種の制御が必要とされる。第1の制御は、波長可変フィルタの選択波長をエタロン105の所望の透過波長に合わせる制御である。第2の制御は、共振器縦モードの位置を調整して発振波長を所望の波長(例えば、ITUグリッド)にあわせる制御である。第2の制御のために、共振器内部に共振器長(位相)を制御するための導波路集積部102が設けられており、共振器縦モードの位置が制御可能となっている。

【0005】

位相を制御する方法としては、特許文献1に記載されているように、半導体を配置し電流注入による屈折率変化を利用して共振器長(位相)を変化させる方法や、共振器を構成するミラーの位置を変化させた方法が挙げられる。

【0006】

そして、従来の波長可変レーザでは、このような位相制御に際して、特許文献2に記載されているように、レーザ光の強度を検出して、これが最大になるようにフィードバックをかけたり、特許文献3に記載されているように、SOAの活性層に印加される電圧が最小になるようにフィードバックをかけたりしている。これらの位相制御は、共振器の縦モード位置と、周期的な透過波長を持つ光フィルタの透過波長のうち波長可変フィルタによって選択された波長の透過中心波長とが一致したときに、レーザ光の強度が最大になり、SOAの活性層電圧が最小になることを利用したものである。

【0007】

しかしながら、レーザ光の強度が最大になるように制御する場合や、SOAの活性層電圧が最小になるようにフィードバックをかけて制御する場合には、以下のような問題がある。

【0008】

第1に、SOAにおける非対称利得飽和の影響で、レーザ光の強度が最大になる位相及び活性層電圧が最小になる位相が、最も安定して制御できる点からずれている。図8は、位相を変化させた場合の光出力(レーザ光の強度)の変化を示す図である。図8に示すように、位相(縦モード位置)に対する光出力の変化は周期的である。1つの連続的に光出

力が変化している領域が、ある1つの縦モードで発振している領域に相当し、不連続に変化して位相で発振が別の縦モードに移行している。そして、SOAでは、ある1つの縦モードで発振している領域内の光出力の変化は、光出力が最大値となる位相に関して非対称になっており、光出力が最大値となる位相から短波側に位相がずれた場合には、すぐに他の縦モードで発振してしまう。このような現象は、SOAの非対称利得飽和の影響で、発振波長の短波側の利得が減少し、長波側の利得が増加して、長波側のモードで発振しやすくなるために生じているものであり、現状では回避することができない。

【0009】

このため、光出力が最大になるようにフィードバックをかける方法では、その位相よりも短波側の領域が狭いため、モード飛びが生じやすい。この結果、安定した発振が困難となり、レーザの雑音特性が悪化してしまう。このような現象は、活性層電圧をモニタした場合にも同様に生じている。また、レーザ光の強度が変動した場合、その影響を受けることもある。

【0010】

第2に、上述のような制御を行う場合には、位相に対してディザリングをかけて、位相の変化に対するレーザ光の強度（光出力）の変化又は活性層電圧の変化の傾きが0になるように制御をする必要がある。しかし、位相にディザリングかけると、縦モード位置を周期的に変化させることになり、発振波長の変動が生じてしまう。

【0011】

【特許文献1】特開平7-335965号公報

【特許文献2】米国特許出願公開第2003/0142700A1号明細書

【特許文献3】米国特許第4,622,672号明細書

【特許文献4】特開2001-85774号公報

【特許文献5】特開2001-251013号公報

【特許文献6】特開2002-185074号公報

【非特許文献1】シャロン、外2名、「ジャーナル オブ オプティカル ソサイアティ オブ アメリカ」(Sharon et al., J. Opt. Soc. Am. A, vol.14, No.11 pp. 2985-2993)

【発明の開示】

【発明が解決しようとする課題】

【0012】

本発明は、容易に適切な発振波長の制御を行うことができる波長可変レーザ及びその制御方法を提供することを目的とする。

【課題を解決するための手段】

【0013】

本願発明者は、前記課題を解決すべく鋭意検討を重ねた結果、以下に示す発明の諸態様に想到した。

【0014】

本発明に係る波長可変レーザには、レーザ光を出射する半導体光増幅器と、前記レーザ光の経路に配置された波長可変フィルタと、前記レーザ光の経路に配置され、周期的な透過波長を具えた第1の光フィルタと、前記半導体光増幅器、位相制御手段、波長可変フィルタ及び第1の光フィルタを間に挟む位置に配置され、前記レーザ光を共振させる2個の反射部材と、前記2個の反射部材間で共振するレーザ光の位相を制御する位相制御手段と、が設けられている。この波長可変レーザには、更に、前記2個の反射部材の一方を透過したレーザ光の一部を分離する第1及び第2のビームスプリッタと、前記第1のビームスプリッタにより分離されたレーザ光の強度を検出する第1の光検出器と、前記第2のビームスプリッタにより分離されたレーザ光の経路に配置され、周期的な透過波長を具えた第2の光フィルタと、前記第2の光フィルタを透過したレーザ光の強度を検出する第2の光検出器と、が設けられている。そして、この波長可変レーザは、前記位相制御手段が、前記第1の光検出器により検出された強度に対する前記第2の光検出器により検出された強

度の比が一定の値になるように前記レーザ光の位相を制御することを特徴とする。

【発明の効果】

【0015】

本発明によれば、第1及び第2の光検出器により検出された強度の比に基づいて位相の制御が行われるため、安定した位相の制御が可能になり、容易に適切な発振波長の制御を行うことができ、良好な雑音特性を得ることができる。

【発明を実施するための最良の形態】

【0016】

以下、本発明の実施形態に係る波長可変レーザ及びその制御方法について添付の図面を参照して具体的に説明する。

【0017】

(第1の実施形態)

先ず、本発明の第1の実施形態について説明する。図1は、本発明の第1の実施形態に係る波長可変レーザの構造を示す模式図である。

【0018】

本実施形態においては、半導体光増幅器(SOA)1の一端に半透過性の反射膜7が形成され、反射膜7との間で半導体光増幅器1を挟み込むようにして、反射鏡(全反射鏡)6が半導体光増幅器1から離間して配置されている。反射鏡6及び反射膜7から共振器が構成されている。また、半導体光増幅器1の反射鏡6側には、導波路集積部2が設けられている。導波路集積部2は、例えば半導体光増幅器1におけるレーザ光の位相を制御するための導波路が集積して構成されており、例えば電流注入によって屈折率を変化させて位相の制御が行われる。更に、導波路集積部2の反射鏡6側の端面には、無反射膜(図示せず)が形成されており、導波路集積部2及び無反射膜を介して、半導体光増幅器1に音響光学波長可変フィルタ(AOTF)3がバットジョイントで結合されている。

【0019】

また、音響光学波長可変フィルタ3と反射鏡6との間には、音響光学波長可変フィルタ3側から順に、レンズ4及びエタロン5Aが配置されている。レンズ4は、音響光学波長可変フィルタ3からの出射光をコリメートする。エタロン5AのFSR(自由分光領域)は、例えば50GHzである。

【0020】

また、共振器の外部には、反射鏡6との間で反射膜7を挟むようにして、ビームスプリッタ9B及び9Aが反射膜7側から順に配置されている。ビームスプリッタ9Bは、反射膜7を透過して出力されたレーザ光の10分の1を分離する。そして、この分離先には、光検出器(PD)10Bが配置されている。また、ビームスプリッタ9Bと光検出器9Bとの間には、エタロン5Bが配置されている。エタロン5BのFSRは、例えば100GHzである。ビームスプリッタ9Aは、ビームスプリッタ9Bを透過したレーザ光のうちの一部を分離する。そして、この分離先には、光検出器(PD)10Aが配置されている。

【0021】

更に、本実施形態には、光検出器10A及び10Bによる検出結果に基づいて導波路集積部2を構成する導波路の屈折率を調節することにより、共振器内で共振するレーザ光の位相を制御する位相制御部11が設けられている。位相制御部11は、光検出器10Aにより検出された強度に対する光検出器10Bにより検出された強度の比が、予め求めておいた基準値となるように、帰還制御により導波路の屈折率を調節する。

【0022】

図7に示す従来の波長可変レーザでは、レーザ光の強度から得ている情報がその最大値のみであるため、共振器縦モードの位置の制御においては、周期的な透過波長を持つ光フィルタ(エタロン105)の透過中心波長と共振器縦モードの位置とを一致させることのみが可能である。これに対し、本実施形態では、レーザ光の強度の最大値ではなく、2種の強度の相対比に基づいた制御が行われるため、エタロン5Aの透過中心波長と共振器縦

モードの位置とが一致するように位相を制御するだけでなく、位相（共振器縦モードの位置）を任意に制御することが可能である。従って、基準値が適切に設定されていれば、ある1つの縦モードで発振している領域の中心に発振波長を固定することもできる。

【0023】

また、本実施形態には、半導体光増幅器1の活性層電圧を監視する電圧モニタ8が設けられている。そして、半導体光増幅器1の活性層電圧が最小になるような帰還制御により、音響光学波長可変フィルタ3が制御される。なお、電圧モニタ8を用いずに、光検出器10Aにより検出される強度（光出力）が最大になるように、音響光学波長可変フィルタ3の制御が行われてもよい。

【0024】

ここで、音響光学波長可変フィルタ3及びエタロン5Aの作用について説明する。図2(a)乃至(c)は、音響光学波長可変フィルタ3及びエタロン5Aを用いたフィルタリングの結果を示す図である。上述のように構成された波長可変レーザにおいて、音響光学波長可変フィルタ3及びエタロン5Aが設けられていない場合、図2(a)に示すように、共振器の縦モードに一致する全ての波長で発振する可能性がある。図2(a)に示すスペクトルに対し、エタロン5Aを用いたフィルタリングが行われると、エタロン5Aは周期的な透過波長を有しているため、図2(b)に示すように、エタロン5Aの周期的な透過波長近傍に位置する縦モードの波長でのみ発振が可能となる。更に、音響光学波長可変フィルタ3を用いたフィルタリングが行われると、図2(c)に示すように、エタロン5Aの周期的な透過波長のうちの1つが選択され、任意のエタロン5Aの透過波長での発振が可能となる。

【0025】

従って、エタロン5Aのフィルタ特性（フィネス）を鋭くすれば、単一縦モード発振が可能になるため、音響光学波長可変フィルタ3のフィルタ特性は、エタロン5Aの周期的な透過波長のうちの1つを選択するのに十分鋭ければよい。つまり、音響光学波長可変フィルタ3のみが設けられている場合と比べて、音響光学波長可変フィルタ3に要求される特性が軽減される。

【0026】

次に、エタロン5Aとエタロン5Bとの関係について説明する。図3は、エタロン5A及び5Bのフィルタ透過率を示す図である。なお、半導体光増幅器1の反射膜7が形成されている端面から出射されるレーザ光の強度の発振波長に対する変化は、図3のエタロン5Aの透過率の波長に対する変化と同じ傾向を示す。即ち、発振波長がエタロン5Aの透過ピーク波長付近において発振している場合には、レーザ光の強度は大きく、そこから発振波長がずれるに従って強度が減少していく。

【0027】

上述のように、位相制御部11は、光検出器10Aにより検出された強度(T_A)に対する光検出器により検出された強度(T_B)の比(T_B/T_A)が、予め求めておいた基準値(Z)となるように、帰還制御により位相制御用に集積された導波路の屈折率を調節する。この強度の比(T_B/T_A)は、図3に示すエタロン5Bの透過率に比例する値をとるため、発振波長が決まればその波長でのエタロン5Bの透過率に応じて強度の比(T_B/T_A)が特定される。従って、逆にこの強度の比(T_B/T_A)をある基準値(Z)になるように制御すれば、波長を固定することが可能となる。これは、通常のエタロンを用いた波長ロックと同じ原理である（特許文献4、5、6）。

【0028】

本実施形態では、エタロン5A、5BのFSRは、夫々50GHz、100GHzであり、エタロン5BのFSRはエタロン5AのFSRに対して2倍となっている。エタロン5Bの透過率のピークに対して右側（長波側）及び左側（短波側）のスロープ（傾斜部）の両方を使うことによって、図3に示すように、強度の比(T_B/T_A)を一定の基準値(Z)に合わせて、50GHz間隔の全てのエタロン5Aの透過中心波長に対して波長を固定することができる。また、図3に示すように、エタロン5A及び5Bの波長の関係につ

いては、エタロン 5 A の 50 GHz 間隔の透過率が極大になる波長の中央に、エタロン 5 B の透過率が極大になる波長が位置している。このため、エタロン 5 A の透過率が極大になる波長付近で（レーザの発振波長で）エタロン 5 B の透過率の変化の傾き、即ち波長ロック用の信号（強度の比 (T_B/T_A) ）の変化の傾きが最大になり、精度よく波長を固定することができる。

【0029】

更に、本実施形態では、エタロン 5 B の左右両方のスロープを用いて波長をロックするため、エタロン 5 A の 50 GHz の互いに隣り合う透過ピーク波長に対してロック用信号（強度の比 (T_B/T_A) ）の波長に対する変化の傾きの正負が反転する。従って、この変化の傾きを検出することにより、所望のエタロン 5 A の透過ピーク波長で発振しているか、そこから 50 GHz 離れた波長で発振しているかを判断することができるため、安定した波長制御が可能となる。

【0030】

次に、基準値 Z について説明する。図 4 に示すように、半導体光増幅器 1 においても、非対称利得飽和の影響で、光出力（レーザ光の強度）が最大になる位相は、1 つの縦モードで発振している領域の中心からずれている。このような半導体光増幅器 1 の特性に関し、本実施形態では、上述のような強度の比 (T_B/T_A) に基づく位相制御を行う前に、図 4 に示すようなグラフを得て、1 つの縦モードで発振している領域の中心となる位相に相当する発振波長の値を求める。そして、発振波長がこの値をとるときの強度の比 (T_B/T_A) を求め、基準値 Z とする。

【0031】

このように、共振器縦モードの位置の制御（共振器長の制御）は、強度の比 (T_B/T_A) を予め定められた基準値 Z と一致させることで達成される。

【0032】

従って、位相に対してディザリングをかけて制御をする必要がないため、不必要な波長変動もなくなる。

【0033】

また、音響光学波長可変フィルタ 3 の制御（フィルタの選択）については、例えば、電圧モニタ 8 により検出された半導体光増幅器 1 の活性層電圧が最小になるような帰還制御を行ってもよく、光検出器 10 A により検出された強度（光出力）が最大になるような帰還制御を行ってもよい。即ち、音響光学波長可変フィルタ 3 の制御は、レーザ光の出力強度から独立して行うことができる。なお、音響光学波長可変フィルタ 3 の制御の頻度よりも、共振器縦モードの位置の制御の頻度を高くすることが好ましい。

【0034】

（第 2 の実施形態）

次に、本発明の第 2 の実施形態について説明する。図 5 は、本発明の第 2 の実施形態に係る波長可変レーザの構造を示す模式図である。

【0035】

本実施形態には、第 1 の実施形態における音響光学波長可変フィルタ 3 の代わりに反射型波長可変フィルタ 13 が設けられている。また、反射鏡 6 は設けられていない。反射型波長可変フィルタ 13 の位置は、導波路集積部 2 とレンズ 4 との間ではなく、第 1 の実施形態において反射鏡 6 が設けられている位置である。従って、本実施形態では、反射膜 7 及び反射型波長可変フィルタ 13 から共振器が構成されている。反射型波長可変フィルタ 13 は、所望の波長の光のみを反射し、その他の波長の光を透過する波長可変フィルタであり、例えば回折格子を利用した反射型のフィルタである。このような波長可変フィルタの概要は、例えば非特許文献 1 に記載されている。

【0036】

このように構成された第 2 の実施形態に係る波長可変レーザによっても、第 1 の実施形態と同様の効果が得られる。

【0037】

なお、第1及び第2の実施形態では、エタロン5Bの透過波長の周期がエタロン5Aのその2倍となっているが、これらが一致していてもよい。これらが一致している場合、図6に示すように、エタロン5A及びエタロン5Bの透過率が最大になる波長の関係によらず、エタロン5Aの全ての透過ピーク波長において基準値(Z)を一定にできるため、単純な制御が可能である。なお、図6に示すフィルタ透過率の波長に対する変化は、半導体光増幅器1から出射されたレーザ光に強度の変動がない場合には、共振器から出力されるレーザ光の強度の変化と一致する。

【0038】

また、透過波長の周期が互いに一致している場合、両フィルタの透過率が極大となるときの波長同士は、透過波長の周期をTとしたとき、 $T/4$ 程度ずれていることが好ましい。これは、エタロン5Aの透過率が最大になる波長付近、即ちレーザの発振波長付近で、波長に対するエタロン5Bの透過率の傾き(波長ロック用の信号(強度の比(T_B/T_A))の変化の傾き)を最大にし、精度よく波長を固定できるようにするためである。

【0039】

(第3の実施形態)

次に、本発明の第3の実施形態について説明する。図9は、本発明の第3の実施形態に係る波長可変レーザの構造を示す模式図である。

【0040】

本実施形態では、第2の実施形態の構成に加えて、反射型波長可変フィルタ13の透過光の強度を検出する光検出器10Cが設けられている。本実施形態では、位相状態の制御は、第1及び第2の実施形態と同様に行う。一方、反射型波長可変フィルタ13のフィルタ波長の制御では、第1及び第2の実施形態とは異なり、光検出器10Aにより検出される光強度(T_A)と光検出器10Cにより検出される光強度(T_C)との比が特定の値になるように制御を行う。光検出器10Cにより検出される反射型波長可変フィルタ13からの透過光の強度は、フィルタ波長が発振波長に一致している場合に最も小さく、ずれるに従って大きくなる。この傾向は、光検出器10Aにより検出されるレーザの光出力の変化と逆の傾向であるため、これらの比をモニタすれば、単にレーザ光の強度をモニタする場合よりも、発振波長に対する変化がより明確になり、精度よく反射型波長可変フィルタ13のフィルタ波長を制御することができる。また、比をとることによって、レーザの光出力自身の変動を無視できるため安定した制御が可能となる。

【0041】

(第4の実施形態)

次に、本発明の第4の実施形態について説明する。図10は、本発明の第4の実施形態に係る波長可変レーザの構造を示す模式図である。

【0042】

本実施形態では、第2の実施形態の構成に加えて、ビームスプリッタ9Aよりも後方にビームスプリッタ9Cが設けられ、このビームスプリッタ9Cの分離先に光検出器10Dが設けられ、更に、ビームスプリッタ9Cと光検出器10Dとの間にリニアフィルタ5Lが設けられている。リニアフィルタ5Lは、波長に対して緩やかに、且つ単調に透過率が変化する媒質から構成されている。本実施形態では、光検出器10Dに入射する光の強度は、リニアフィルタ5Lの透過率の波長依存性に従って変化する。従って、光検出器10Dが検出する光強度の値から、発振している波長がエタロン5Aのどの透過波長付近であるかを判断して特定することができる。これにより、現在の発振波長が所望の発振波長であるか否かをより正確に判断することができ、安定した波長制御を行うことができる。このような第4の実施形態の構成は、第2の実施形態だけでなく、第1又は第3の実施形態に適用してもよい。

【0043】

なお、第1乃至第4の実施形態では、波長可変フィルタとして、音響光学波長可変フィルタ(AOTF)3、回折格子を利用した反射型のフィルタ13が用いられているが、他

の種の波長可変フィルタが用いられていてもよい。また、各素子の配置等も上述の実施形態についての説明に限定されるものではない。

【0044】

以下、本発明の諸態様を付記としてまとめて記載する。

【0045】

(付記1)

レーザ光を出射する半導体光増幅器と、
前記レーザ光の経路に配置された波長可変フィルタと、
前記レーザ光の経路に配置され、周期的な透過波長を具えた第1の光フィルタと、
前記半導体光増幅器、位相制御手段、波長可変フィルタ及び第1の光フィルタを間に挟む位置に配置され、前記レーザ光を共振させる2個の反射部材と、
前記2個の反射部材間で共振するレーザ光の位相を制御する位相制御手段と、
前記2個の反射部材の一方を透過したレーザ光の一部を分離する第1及び第2のビームスプリッタと、
前記第1のビームスプリッタにより分離されたレーザ光の強度を検出する第1の光検出器と、
前記第2のビームスプリッタにより分離されたレーザ光の経路に配置され、周期的な透過波長を具えた第2の光フィルタと、
前記第2の光フィルタを透過したレーザ光の強度を検出する第2の光検出器と、
を有し、
前記位相制御手段は、前記第1の光検出器により検出された強度に対する前記第2の光検出器により検出された強度の比が一定の値になるように前記レーザ光の位相を制御することを特徴とする波長可変レーザ。

【0046】

(付記2)

前記2個の反射部材のうち前記第1及び第2のビームスプリッタから離間する側に配置された反射部材と前記波長可変フィルタとが同一の部材から構成されていることを特徴とする付記1に記載の波長可変レーザ。

【0047】

(付記3)

前記同一の部材は、回折格子を利用した反射型のフィルタであることを特徴とする付記2に記載の波長可変レーザ。

【0048】

(付記4)

前記第1の光フィルタの透過波長の周期と、前記第2の光フィルタの透過波長の周期とが、互いに一致していることを特徴とする付記1乃至3のいずれか1項に記載の波長可変レーザ。

【0049】

(付記5)

前記第2の光フィルタの透過波長の周期は、前記第1の光フィルタの透過波長の周期の2倍となっていることを特徴とする付記1乃至3のいずれか1項に記載の波長可変レーザ。

【0050】

(付記6)

前記波長可変フィルタに対して、前記第1の光検出器により検出されるレーザ光の強度が最大となるように制御が行われることを特徴とする付記1乃至5のいずれか1項に記載の波長可変レーザ。

【0051】

(付記7)

前記波長可変フィルタに対して、前記半導体光増幅器にかかる電圧が最小となるように

制御が行われることを特徴とする付記 1 乃至 5 のいずれか 1 項に記載の波長可変レーザ。

【0052】

(付記 8)

前記反射型のフィルタの透過光の強度を検出する第 3 の光検出器を有し、

前記第 1 の光検出器により検出される光強度と前記第 3 の光検出器により検出される光強度との比が特定の値になるように前記反射型のフィルタのフィルタ波長を制御することを特徴とする付記 3 に記載の波長可変レーザ。

【0053】

(付記 9)

前記 2 個の反射部材の一方を透過したレーザ光の一部を分離する第 3 のビームスプリッタと、

前記第 3 のビームスプリッタにより分離されたレーザ光の経路に配置され、波長に対して緩やかに、且つ単調に透過率が変化する媒質と、

前記媒質を透過したレーザ光の強度を検出する第 4 の光検出器と、

を有し、

前記第 4 の光検出器により検出された光強度に基づいて発振している波長が特定されることを特徴とする付記 1 乃至 8 のいずれか 1 項に記載の波長可変レーザ。

【0054】

(付記 10)

前記一定の値は、前記 2 個の反射部材間で共振するレーザ光の位相と前記 2 個の反射部材の一方を透過したレーザ光の強度との関係から予め求められた値であることを特徴とする付記 1 乃至 9 のいずれか 1 項に記載の波長可変レーザ。

【0055】

(付記 11)

前記半導体光増幅器には、前記 2 個の反射部材間で同一の縦モードで共振することができる位相の範囲が存在し、

前記一定の値は、前記位相の範囲の中心の位相が得られるときに、前記第 1 の光検出器により検出された強度に対する前記第 2 の光検出器により検出された強度の比であることを特徴とする付記 1 乃至 9 のいずれか 1 項に記載の波長可変レーザ。

【0056】

(付記 12)

前記第 1 及び第 2 の光フィルタは、エタロンであることを特徴とする付記 1 乃至 11 のいずれか 1 項に記載の波長可変レーザ。

【0057】

(付記 13)

レーザ光を出射する半導体光増幅器と、

前記レーザ光の経路に配置された波長可変フィルタと、

前記レーザ光の経路に配置され、周期的な透過波長を具えた第 1 の光フィルタと、

前記半導体光増幅器、位相制御手段、波長可変フィルタ及び第 1 の光フィルタを間に挟む位置に配置され、前記レーザ光を共振させる 2 個の反射部材と、

前記 2 個の反射部材の一方を透過したレーザ光の一部を分離する第 1 及び第 2 のビームスプリッタと、

前記第 1 のビームスプリッタにより分離されたレーザ光の強度を検出する第 1 の光検出器と、

前記第 2 のビームスプリッタにより分離されたレーザ光の経路に配置され、周期的な透過波長を具えた第 2 の光フィルタと、

前記第 2 の光フィルタを透過したレーザ光の強度を検出する第 2 の光検出器と、

を有する波長可変レーザの制御方法であって、

前記第 1 の光検出器により検出された強度に対する前記第 2 の光検出器により検出された強度の比が一定の値になるように、前記 2 個の反射部材間で共振するレーザ光の位相を

制御することを特徴とする波長可変レーザの制御方法。

【0058】

(付記14)

前記波長可変フィルタに対して、前記第1の光検出器により検出されるレーザ光の強度が最大となるように、フィルタの選択を行うことを特徴とする付記13に記載の波長可変レーザの制御方法。

【0059】

(付記15)

前記波長可変フィルタに対して、前記半導体光増幅器にかかる電圧が最小となるように、フィルタの選択を行うことを特徴とする付記13に記載の波長可変レーザの制御方法。

【0060】

(付記16)

前記一定の値として、前記2個の反射部材間で共振するレーザ光の位相と前記2個の反射部材の一方を透過したレーザ光の強度との関係から予め求められた値を用いることを特徴とする付記13乃至15のいずれか1項に記載の波長可変レーザの制御方法。

【0061】

(付記17)

前記半導体光増幅器には、前記2個の反射部材間で同一の縦モードで共振することができる位相の範囲が存在し、

前記一定の値として、前記位相の範囲の中心の位相が得られるときに、前記第1の光検出器により検出された強度に対する前記第2の光検出器により検出された強度の比を用いることを特徴とする付記13乃至15のいずれか1項に記載の波長可変レーザの制御方法。

【図面の簡単な説明】

【0062】

【図1】本発明の第1の実施形態に係る波長可変レーザの構造を示す模式図である。

【図2】音響光学波長可変フィルタ3及びエタロン5Aを用いたフィルタリングの結果を示すスペクトル図である。

【図3】強度の比(T_B/T_A)と共に、エタロン5A及び5Bのフィルタ透過率(透過波長の周期が異なる場合)を示す図である。

【図4】位相を変化させた場合の光出力の変化及び第1の実施形態における位相制御の方法を示す図である。

【図5】本発明の第2の実施形態に係る波長可変レーザの構造を示す模式図である。

【図6】強度の比(T_B/T_A)と共に、エタロン5A及び5Bのフィルタ透過率(透過波長の周期が一致する場合)を示す図である。

【図7】従来の波長可変レーザの構造を示す模式図である。

【図8】位相を変化させた場合の光出力の変化及び従来の位相制御の方法を示す図である。

【図9】本発明の第3の実施形態に係る波長可変レーザの構造を示す模式図である。

【図10】本発明の第4の実施形態に係る波長可変レーザの構造を示す模式図である。

【符号の説明】

【0063】

- 1: 半導体光増幅器(SOA)
- 2: 導波路集積部
- 3: 音響光学波長可変フィルタ(AOTF)
- 4: レンズ
- 5A、5B: エタロン
- 5L: リニアフィルタ
- 6: 反射鏡

7：反射膜

8：電圧モニタ

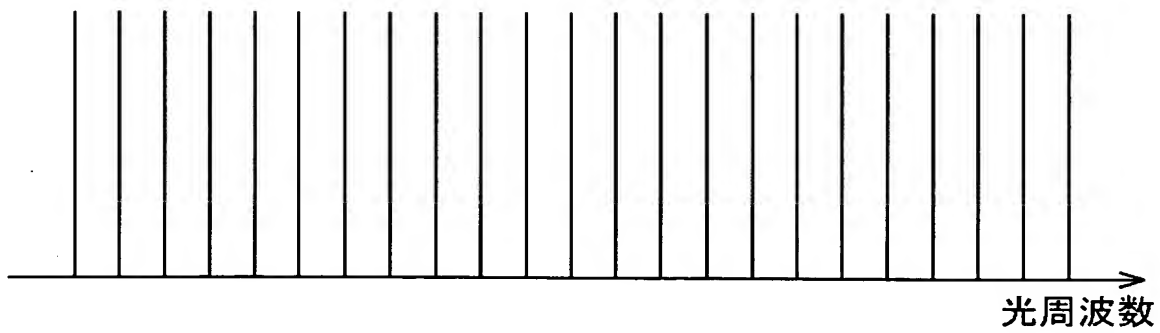
9 A、9 B、9 C：ビームスプリッタ

1 0 A、1 0 B、1 0 C、1 0 D：光検出器（P D）

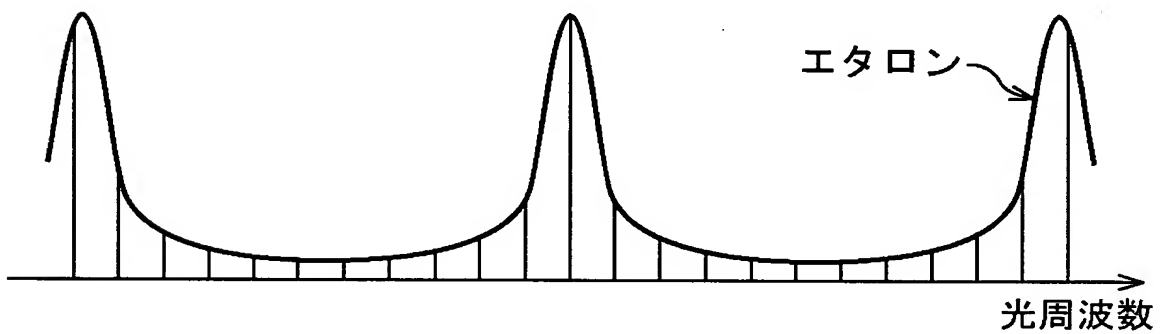
1 1：位相制御部

1 3：反射型波長可変フィルタ

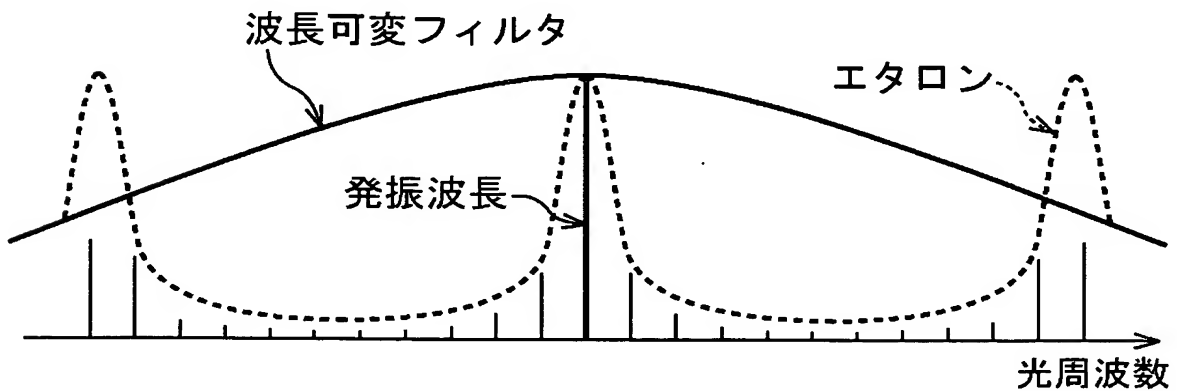
【図 2】



(a) 共振器縦モード

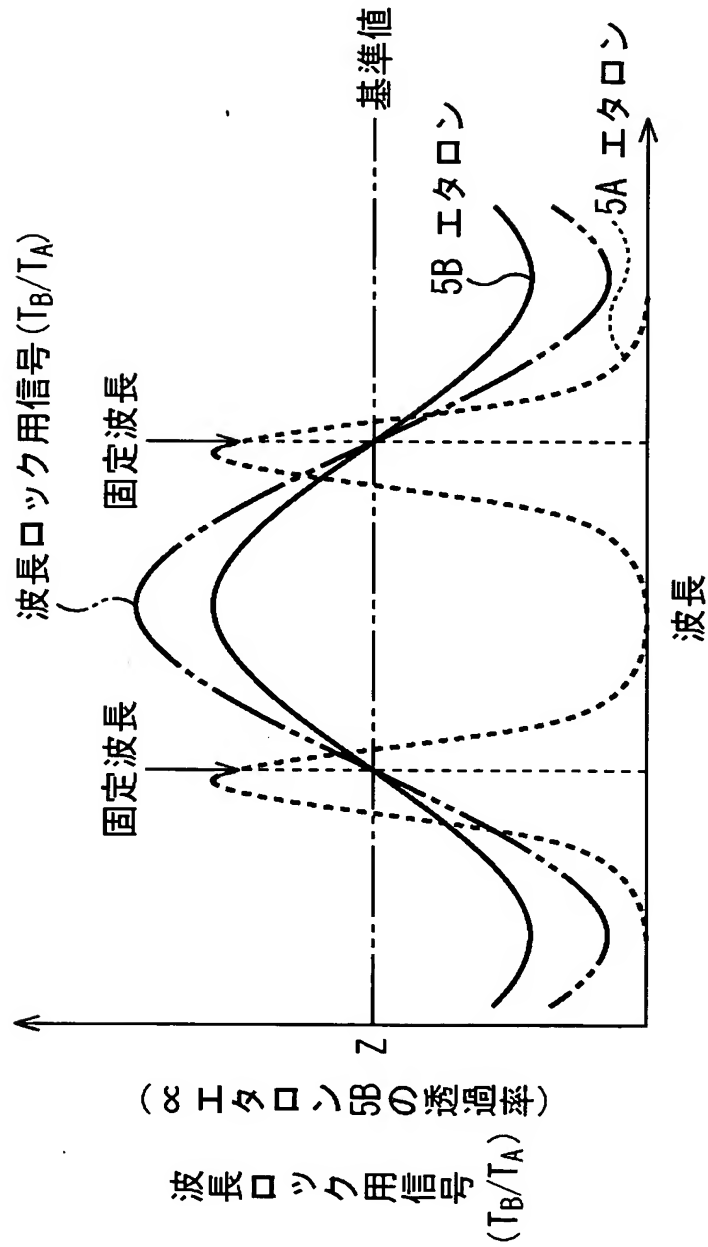


(b) エタロンによるフィルタリング

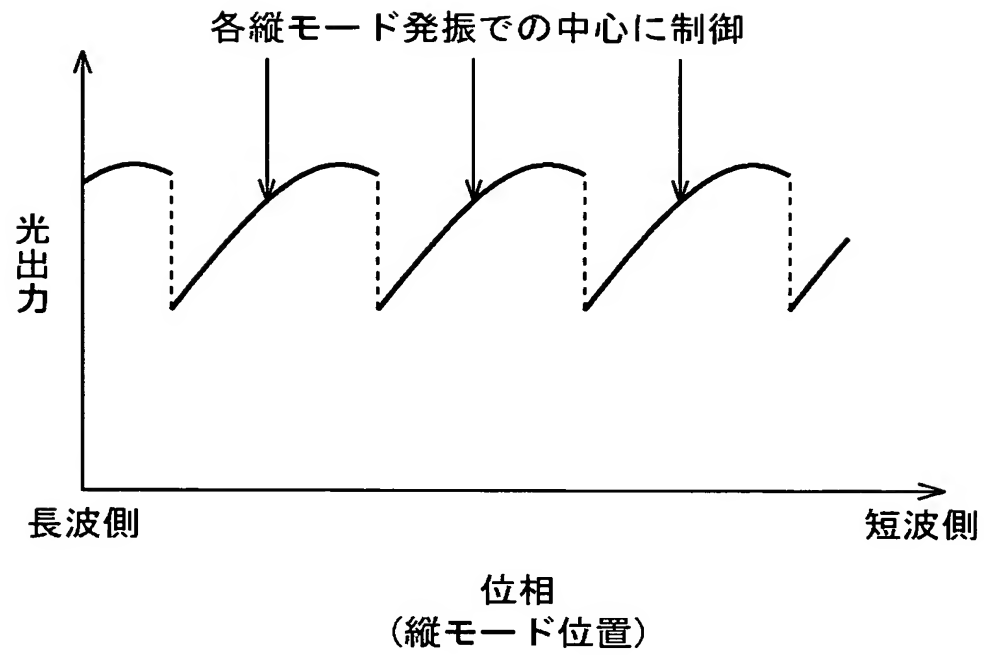


(c) エタロン及び波長可変フィルタによるフィルタリング

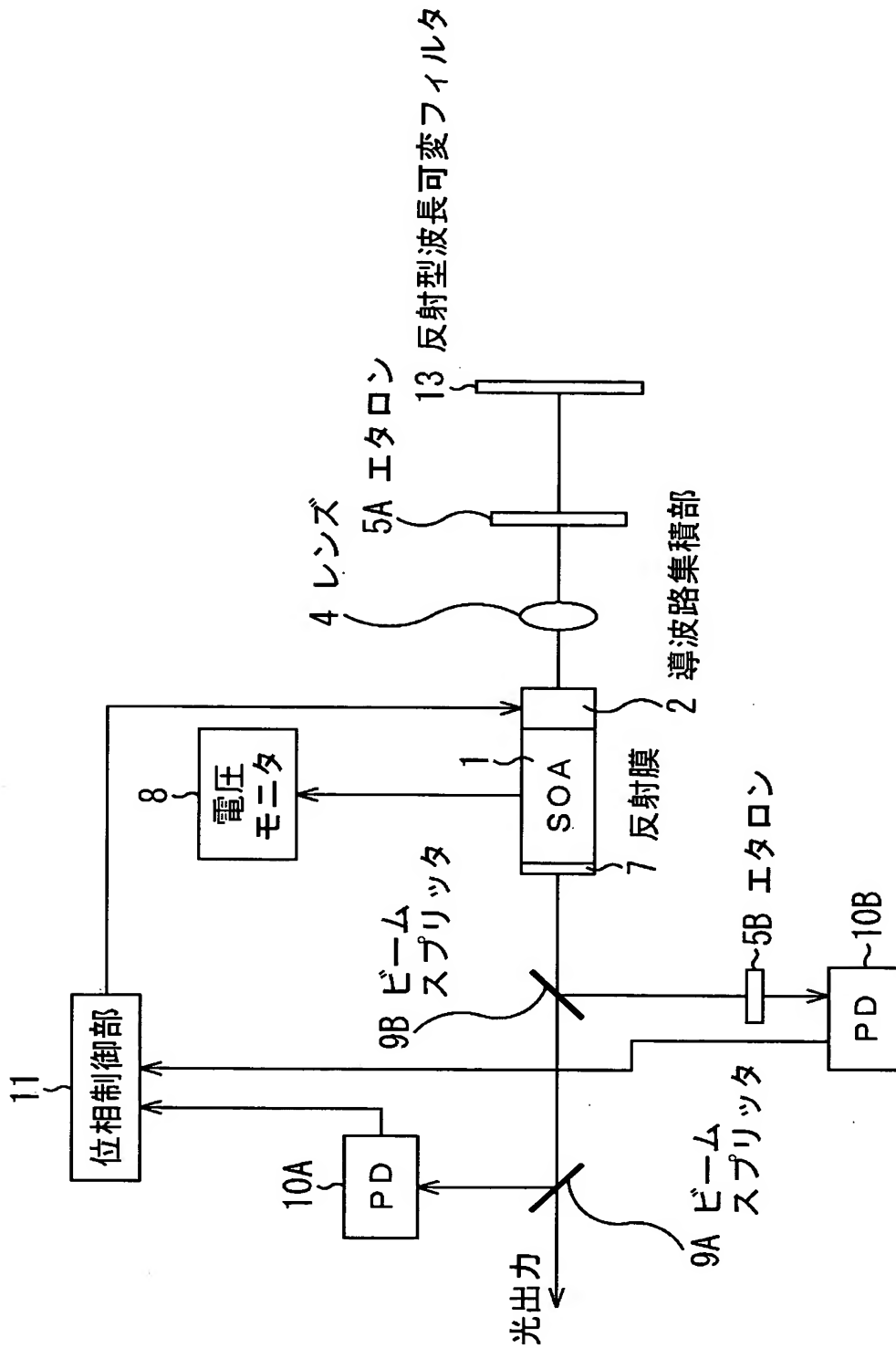
【図 3】



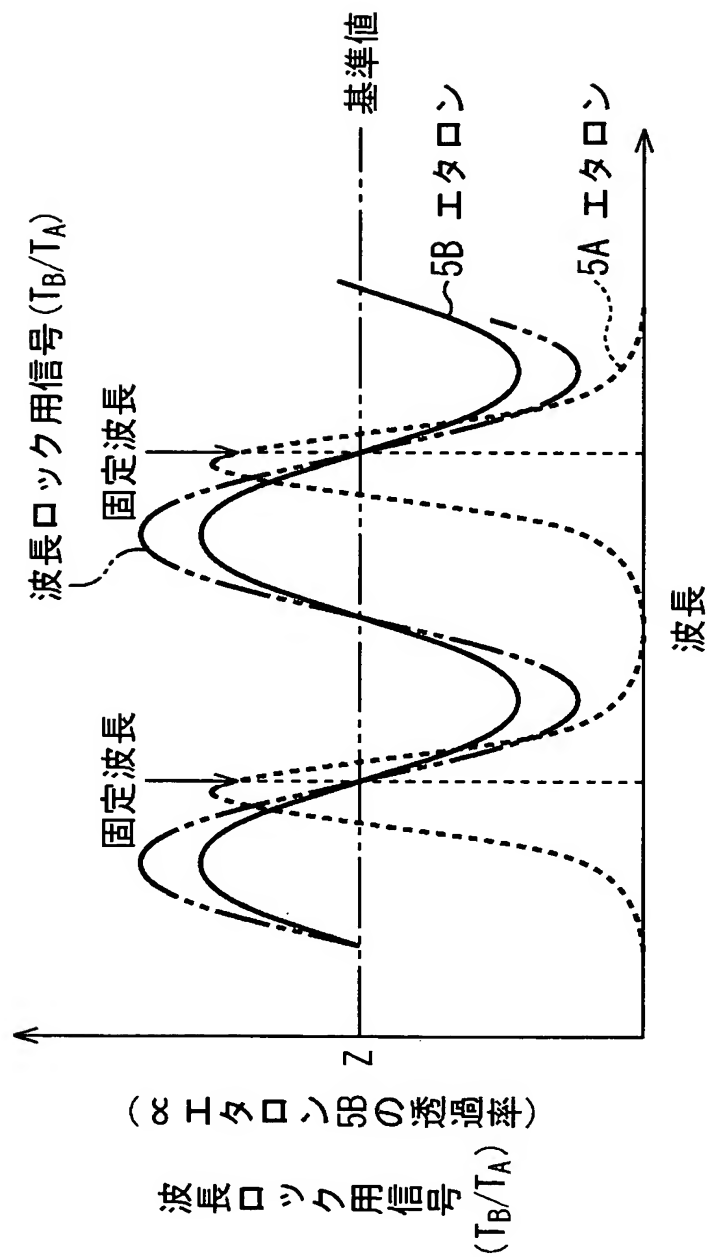
【図 4】



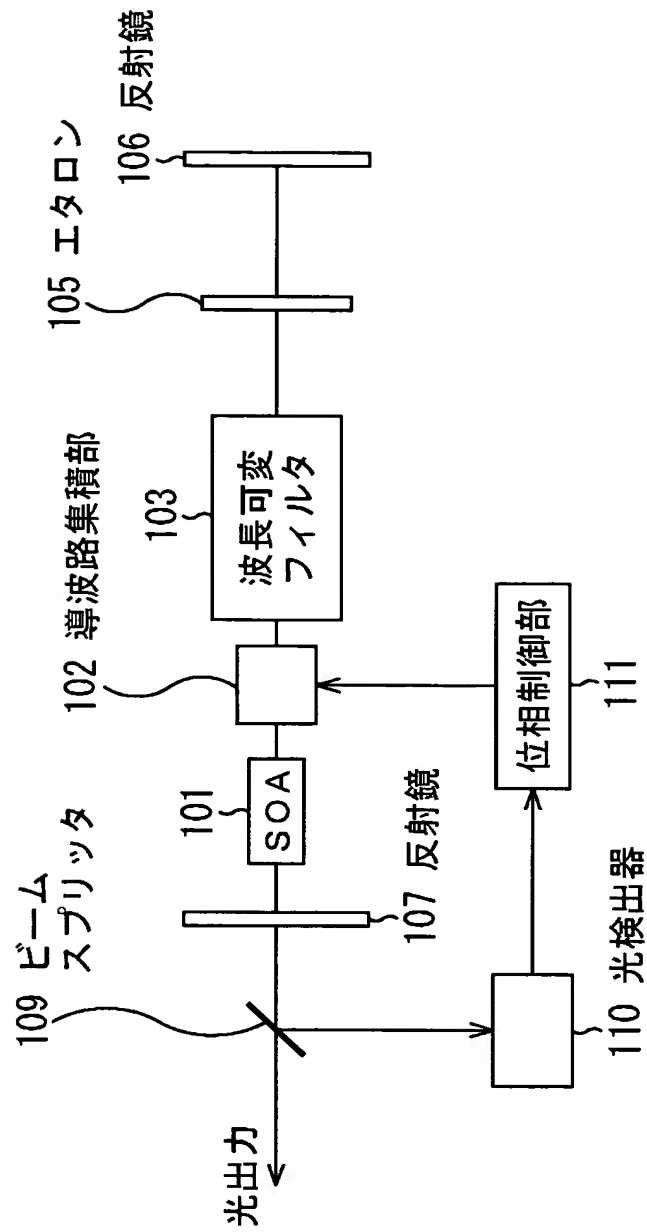
【図 5】



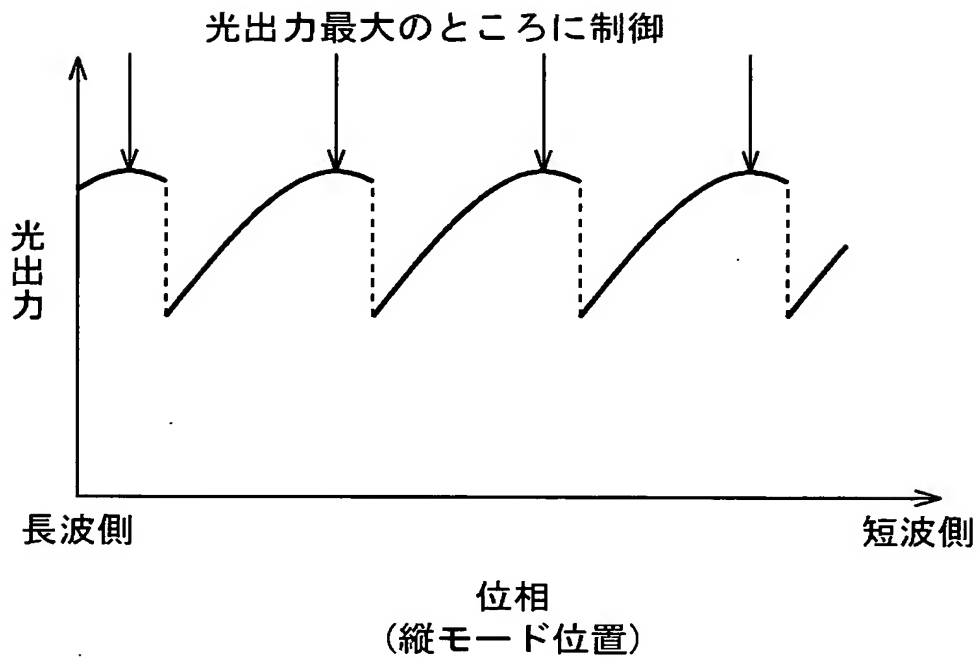
【図 6】



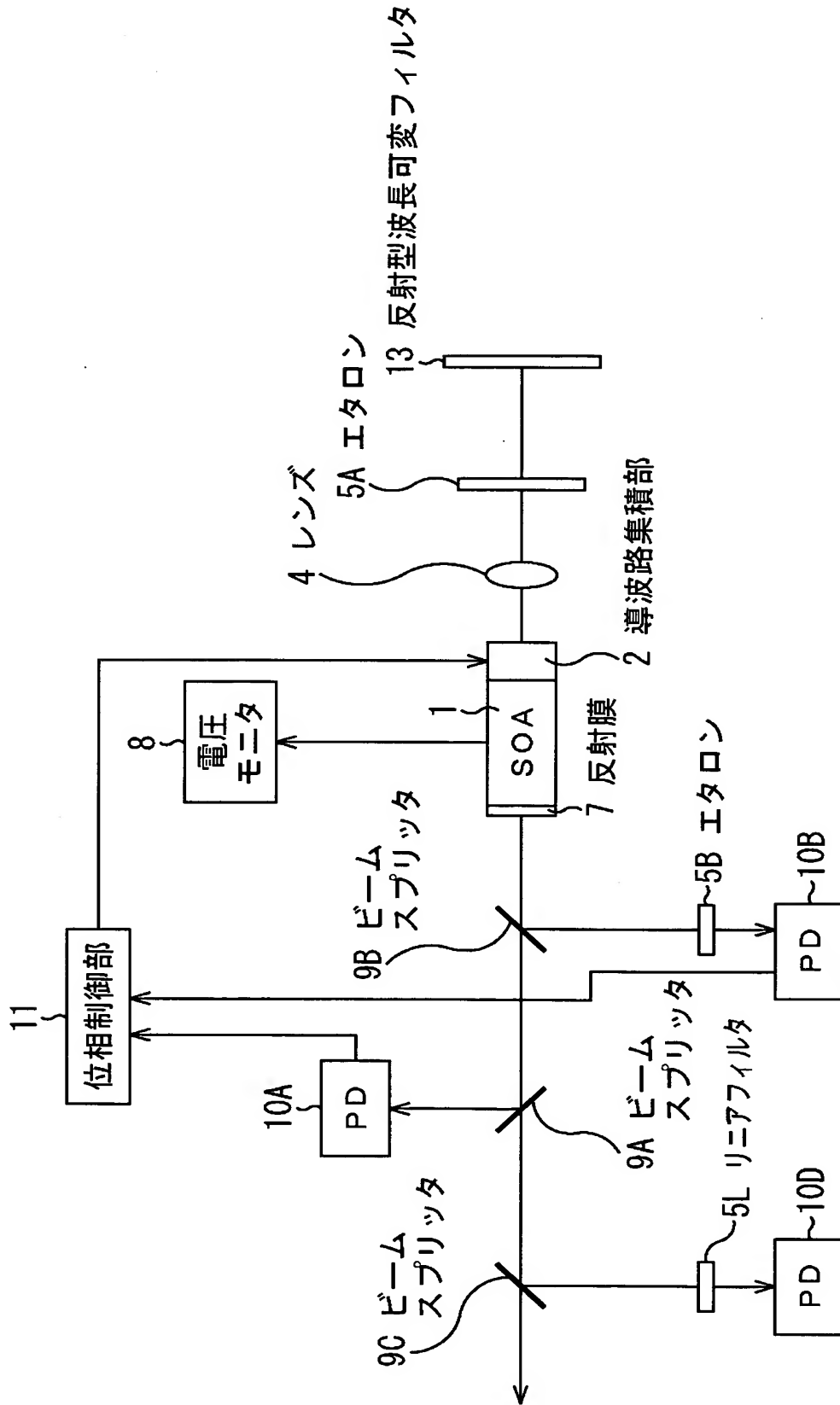
【図 7】



【図 8】



【図 10】



【書類名】 要約書

【要約】

【課題】 容易に適切な発振波長の制御を行うことができる波長可変レーザ及びその制御方法を提供する。

【解決手段】 光検出器 10 A 及び 10 B による検出結果に基づいて導波路集積部 2 を構成する導波路の屈折率を調節することにより、共振器内で共振するレーザ光の位相を制御する位相制御部 11 が設けられている。位相制御部 11 は、光検出器 10 A により検出された強度に対する光検出器 10 B により検出された強度の比が、予め求めておいた基準値となるように、帰還制御により導波路の屈折率を調節する。光検出器 10 A には、共振器から出力されたレーザ光の一部がそのまま照射されるが、光検出器 10 B には、共振器から出力されたレーザ光の一部がエタロン 5 B を透過して照射される。エタロン 5 B の透過波長の周期は、エタロン 5 A の透過波長の周期の 2 倍である。

【選択図】 図 1

特願 2 0 0 3 - 3 7 0 8 0 5

出 願 人 履 歴 情 報

識別番号

[0 0 0 0 0 5 2 2 3]

1. 変更年月日

1 9 9 6 年 3 月 2 6 日

[変更理由]

住所変更

住 所

神奈川県川崎市中原区上小田中 4 丁目 1 番 1 号

氏 名

富士通株式会社